

# Diversidade taxonômica e funcional em áreas de cerrado rupestre de baixa altitude no complexo vegetacional de Campo Maior, Nordeste do Brasil

Tony César de Sousa Oliveira<sup>1</sup>, Valdemir Fernando da Silva<sup>2</sup>, Vanessa Fernanda da Silva Sousa<sup>3</sup>, Ruth Raquel Soares de Farias<sup>4</sup>, Antonio Alberto Jorge Farias Castro<sup>5</sup>

1. Biólogo (Universidade Federal do Piauí, Brasil). Doutorando em Biologia Comparada (Universidade de São Paulo, Brasil).  
tonycsoliveira@hotmail.com.br <http://lattes.cnpq.br/7847161519572289> <http://orcid.org/0000-0001-6209-3829>
2. Engenheiro Florestal e Doutorando em Ciências Florestais (Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil).  
valdemirfsilva@hotmail.com <http://lattes.cnpq.br/7389491995039510> <http://orcid.org/0000-0001-9389-7571>
3. Bióloga e Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Universidade Federal do Piauí, Brasil).  
vanessa\_fernandaSS@hotmail.com <http://lattes.cnpq.br/3737342947818545> <http://orcid.org/0000-0002-8591-5896>
4. Bióloga e Doutora em Biotecnologia em Recursos Naturais (Universidade Federal do Piauí, Brasil).  
ruthraquels@gmail.com <http://lattes.cnpq.br/7546441925505076> <http://orcid.org/0000-0002-0988-0900>
5. Biólogo (Universidade Federal do Ceará, Brasil). Doutor em Biologia Vegetal (Universidade Estadual de Campinas, Brasil). Professor da Universidade Federal do Piauí, Brasil.  
albertojorgecastro@gmail.com <http://lattes.cnpq.br/5210251257399274> <http://orcid.org/0000-0002-2349-3843>

## RESUMO

O Cerrado do Nordeste tem sido alvo de intensa ação antrópica. Isso mostra a necessidade de garantir sua diversidade biológica e função do ecossistema a longo prazo. Assim, o estudo objetivou avaliar a diversidade taxonômica e funcional do cerrado rupestre de baixa altitude presente no Complexo Vegetacional de Campo Maior. Foram selecionadas cinco áreas no banco de dados FLORACENE. A comparação de diversidade taxonômica foi realizada através da série de Hill, para analisar a diversidade funcional, foram mensurados três traços funcionais (área foliar, densidade da madeira e altura máxima). A diversidade de função entre as áreas foi calculada utilizando os índices: riqueza funcional, equitabilidade funcional e divergência funcional e entropia de Rao. Nas áreas estudadas foram amostradas um total de 4550 indivíduos pertencentes a 70 espécies, distribuídos em 28 famílias, sendo Fabaceae a mais abundante em número de espécies e Vochysiaceae a mais representativa em número de indivíduos. Pôde-se observar que as áreas estudadas são bem diversificadas, tanto taxonomicamente quando funcionalmente, isso revela uma conformação de mosaico desse para essa tipologia de cerrado no estado do Piauí.

**Palavras-chave:** Biodiversidade, conservação, ecossistema, Piauí.

## Taxonomic and functional diversity in rupestrian cerrado areas at lower altitudes from Campo Maior vegetation complex, Northeastern Brazil

## ABSTRACT

The Cerrado of the Northeast has been the target of intense anthropic action. This shows the necessity to guarantee their biological diversity and ecosystem function in the long term. Thus, the objective of this study was to evaluate the taxonomic and functional diversity of the low altitude cave cerrado present in the Vegetational Complex of Campo Maior. Five areas were selected in the FLORACENE database. The comparison of taxonomic diversity was done through the Hill series, to analyze the functional diversity, three functional traits were measured (leaf area, wood density and maximum height). The diversity of function among the areas was calculated using the indexes: functional richness, functional equitability and functional divergence and Rao entropy. In the studied areas a total of 4550 individuals belonging to 70 species were sampled, distributed in 28 families, being Fabaceae the most abundant in number of species and Vochysiaceae the most representative in number of individuals. It could be observed that in the studied areas they are well diversified, both taxonomically and functionally, this provides a mosaic conformation of this for this cerrado typology.

**Keywords:** Biodiversity; conservation; ecosystem.

## Introdução

Dentre os ambientes tropicais com maior riqueza taxonômica está o Cerrado. Ele se coloca no cenário mundial como uma das áreas de maior biodiversidade do mundo, o segundo maior bioma da América do Sul e o maior *hotspot* no Hemisfério Ocidental (TABARELLI; VICENTE, 2004; PENNINGTON et al., 2009). Esse bioma abriga cerca de 33% da diversidade biológica brasileira e sua flora contém mais de 12.669 espécies (4.215 endêmicas), com uma grande variação fitofisionômica impressa em um mosaico representado por formações florestais, savânicas e campestres (FORZZA et al., 2012; ARANTES; FERREIRA JR; COE, 2016).

Isso o leva a ter uma grande variedade de formas estruturais, principalmente devido às diferenças de clima, vegetação e solos (RIBEIRO; WALTER, 2008). Ele foi subdividido por Castro (1994) em oito grupos: Dois grupos dos cerrados meridionais de média altitude (500 a 900 m) de São Paulo, três grupos de cerrados do Planalto Central de alta altitude (900 a 1.200 m), um grupo, respectivamente, dos cerrados do pantanal, dos cerrados do litoral e dos cerrados do Nordeste, sendo os dois últimos, setentrionais de baixa altitude (0 a 500 m).

Os cerrados do Nordeste ficam situados em uma área de tensão ecológica, que sofre direta influência dos domínios vegetacionais Amazônicos (oeste-noroeste), Cerrado central (sul-sudeste),

Mata Atlântica (sudeste) e o Semiárido do Nordeste (leste) (CASTRO, 1994). Além disso, sua flora é bastante diferenciada em relação ao cerrado central (CASTRO, 1994/ VIEIRA, 2012), além de estarem situados de um modo geral em diferentes tipos de solos e condições climáticas dos cerrados centrais (CASTRO, et al. 2003; CASTRO, et al. 2007).

O estado com a maior representatividade desse bioma da região nordeste do Brasil é o Piauí, com 12 milhões de hectares, o estado ocupa 7,7% de toda a área (CASTRO, et al. 2007). Porém ao longo de décadas esse cerrado vem sendo devastado, principalmente com a expansão da fronteira agrícola no estado (AGUIAR; MONTEIRO, 2005). Com essa crescente perda na biodiversidade dos cerrados piauienses (MMA, 2009) faz-se necessário intensificar os estudos sobre a biodiversidade nessa região (MAJEKOVA et al., 2014).

Vandewalle et al. (2010) apontam que essas análises devem ser baseadas na riqueza e abundância de espécies, e associa-las aos processos ecológicos, sendo importante agregar outras variáveis que levam a compreender melhor padrões de organização de comunidades biológicas (TRIBOT et al., 2016). Assim, estudos ecológicos além da diversidade taxonômica têm-se utilizado de outras medidas, como a diversidade funcional, que reflete a diversidade através de características morfológicas, fisiológicas e traços

ecológicos encontrados nas espécies (ROY; JABLONSKI; VALENTINE, 2004; SWEBSOB, 2012).

A relação entre diversidade taxonômica e funcional têm revelado interações que ocorrem no ecossistema, pois esses dados fornecem uma estrutura amplamente aplicável para interpretar e prever mudanças nas comunidades biológica, dado que esses os atributos funcionais se relacionam com desempenho (e.g. aquisição de luz e nutrientes, eficiência no uso da água, etc.) e persistência (e.g. resiliência, recrutamento e dispersão) de plantas, sustentando dessa forma a montagem, estrutura e a estabilidade das comunidades e do funcionamento de ecossistemas (DÍAZ; CABIDO, 2001).

Isso acontece, porque há uma forte correlação entre diversidade e os processos ecológicos, pois, estes atuam como um filtro que influencia de forma seletiva sobre o *pool* de espécies, levando a um padrão de estrutura, distribuição e composição das comunidades (GÖTZENBERGER et al., 2011; MÜNKEMÜLLER et al., 2011; PAVOINE; BONSALL, 2011). Além disso, estudos apontam que essa correlação tem importância na avaliação do ecossistema, pois através dela começa-se a entender as consequências da perda de espécies para a função do ecossistema (VIOLE et al., 2007). Assim, o estudo objetivou avaliar e comparar a diversidade taxonômica presente em áreas de cerrados presente no estado do Piauí, e analisar como os índices de diversidade funcional variam entre as áreas.

## Material e Métodos

### Área de estudo

O foco do estudo foi o Complexo Vegetacional de Campo Maior, um mosaico de vegetação presente na parte central da bacia do Parnaíba, caracterizado por apresentar superfícies planas suavemente onduladas, preservadas e rebaixadas, situadas ao norte de Campo Maior e superfícies aplainadas, de chapadas baixas ou rebaixadas ao sul (BARROS; CASTRO, 2006; SOUSA et al., 2009).

A região apresenta clima úmido e quente, tropical chuvoso

com média precipitação anual de 1.300 mm, concentrada em sete meses. Os solos são sedimentares da Formação Longá, predominando os plintossolos (99,9% da área); são solos rasos, pouco permeável de textura leve, pouco desenvolvido, com fraca resistência, baixa percentagem de argila, hidromórficos com frações granulométricas de areias quartzosas, com concreções lateríticas e susceptíveis à erosão (BARROS; CASTRO, 2006; SOUSA et al., 2009).

Essa região possui uma vegetação de transição entre vegetações de cerrado, caatinga, mata com vegetação caducifolia e subcaducifolia estacionais. Possui ainda planícies inundáveis, recobertas pela vegetação herbácea com presença de carnaubais (*Copernicia prunifera* Mill.) denominadas por Castro (1999) como savanas de Copernicia. Nas partes mais altas, não inundáveis, a vegetação apresenta-se arbustivo-arbórea com elementos de cerrado (VELLOSO et al. 2002).

### Vegetação estudada

Foi selecionado uma tipologia de cerrado presente no estado do Piauí, o cerrado rupestre de baixa altitude (CASTRO, 2010), que apresenta uma vegetação aberta e predominantemente de porte médio e de significativa riqueza de espécies, localizados restritamente em afloramentos rochosos de origem quartzítica ou arenítica, de forma insular e relevos suavemente onduladas (RIBEIRO; WALTER, 2008; ALBINO, 2005).

### Amostragem

Foram utilizadas informações do banco de dados FLORASCENE (Flora do cerrado do Nordeste - NE) (Tabela 1), que contem registros da flora lenhosa do cerrado do nordeste brasileiro descrito em Vieira (2012). Este banco de dados é resultado de um projeto de 10 anos do Sítio 10 do Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longo Prazo (PELD). A matriz primária contém mais 6.962 indivíduos de 936 espécies lenhosas em 376 gêneros e 84 famílias. A sistematização taxonômica foi organizada de acordo com o Grupo de Filogenia de Angiospermas IV (APG IV 2016).

**Tabela 1.** Áreas utilizadas do banco de dados da Flora do cerrado do Nordeste-NE. / **Table 1.** Areas used in the Northeastern Cerrado Flora database-NE.

Amostra (Área)	Município	Localidade	Latitude	Longitude
A 1	Castelo do Piauí	Lagoa de Barro	- 5.1518	- 41.6315
A 2	Campo Maior	Serra do Passa Tempo	- 4.9667	- 42.2167
A 3	Campo Maior	Serra de Santo Antônio	- 4.9480	- 42.1924
A 4	Campo Maior	Serra de Bugarim	- 4.9552	- 42.1939
A 5	Castelo do Piauí	Grotão da Caraúba	- 5.3167	- 41.5167

### Diversidade Taxonômica

A diversidade taxonômica entre as áreas foi avaliada através do perfil de diversidade de Hill, que as diferencia pelo peso dado às espécies raras (HILL, 1973). Os diferentes valores de entropia de Hill obtidos equivalem a diferentes índices de diversidade de acordo com a variação na ordem  $q$ , onde:  $q=0$  representa a riqueza de espécies,  $q=1$  equivalente diversidade através do índice de Shannon,  $q=2$  equivalente à dominância de espécies através do índice de Simpson e  $q=3;4;5$  equivalem ao peso das espécies raras.

Para a composição de espécies foram calculadas três métricas de diversidade beta: Mudança na composição de espécies – turnover ( $\beta_{sim}$  - Simpson's dissimilarity), aninhamento ( $\beta_{nes}$  - nestedness componen) e variação total na composição entre as comunidades, incluindo tanto o turnover e o nestedness ( $\beta_{sor}$  - Sørensen dissimilarity) (BESELGA, 2010). O índice de dissimilaridade de Sørensen e o índice de dissimilaridade de Simpson são invariantes às diferenças na riqueza.  $\beta_{nes}$  representa o aninhamento calculado como a diferença entre  $\beta_{sor}$  e  $\beta_{sim}$ .

As medidas de diversidade beta foram calculadas usando o pacote betapart no software R (BESELGA; ORMER, 2012; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013). Para avaliar a dissimilaridade entre as áreas, utilizou-se a análise de escalonamento multidimensional não-métrica (NMDS) com distância euclidiana, através do pacote Vegan no software R. (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

### Diversidade Funcional

Para a mensuração da diversidade funcional, buscaram-se informações na literatura (artigos, livros e banco de dados) sobre

traços morfológicos e vegetativos (área foliar, densidade da madeira e altura máxima) das espécies encontradas. Esses traços são utilizados para compreender uma gama de processos ecológicos incluindo reprodução, competição e adaptação de uma espécie (FUNK; WOLF, 2016).

Visando explorar os diferentes aspectos da diversidade funcional foram mensurados quatro diferentes índices: Riqueza funcional (Fric), equitabilidade funcional (Feve), diversidade funcional (Fdiv) e dispersão funcional (Fdis) (LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010; PLA; CASANOVES; RIENZO, 2011), calculados no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), utilizando o pacote FD (LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010).

## Resultados

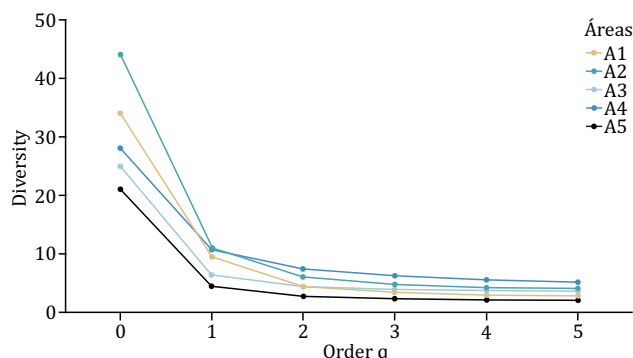
### Diversidade Taxonômica

Nas áreas analisadas foi encontrado um total de 4550 indivíduos, pertencentes a 70 espécies, distribuídos em 28 famílias. A área com maior densidade foi a A1 (Lagoa de Barro) com um total de 1481 indivíduos. Fabaceae foi a família mais abundante em número de espécies (18) (Tabela 2). A Vochysiaceae apresentou maior destaque entre as demais contendo 48,8% dos indivíduos amostrados (2220 indivíduos), sendo, portanto, a mais frequente e representativa nos cerrados rupestres de baixa altitude do complexo de Campo Maior. As cinco espécies mais abundantes foram *Qualea parviflora* Mart., *Byrsonima coriifolia* A.Juss., *Krameria tomentosa* A.St.-Hil., *Psidium myrsinites* DC e *Plathymenia reticulata* Benth.

**Tabela 2.** Espécies arbustivas arbóreas encontradas em cinco áreas de cerrado rupestre de baixa altitude no Complexo de Campo Maior, Nordeste do Brasil. / **Table 2.** Tree shrub species found in five low altitude in rupestrian cerrado areas in the Campo Maior Complex, Northeast Brazil.

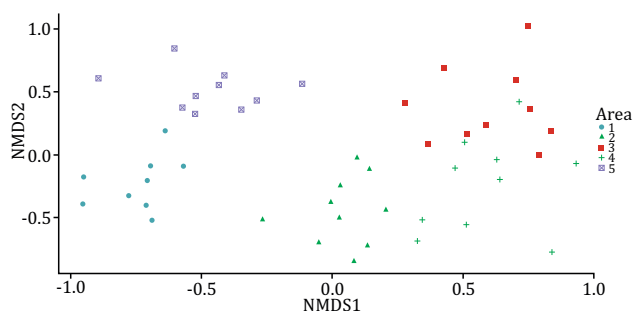
Família/ Número de Indivíduos por área Espécie	Área 1	Área 2	Área3	Área 4	Área 5	Total
<b>Anacardiaceae</b>						
<i>Anacardium occidentale</i> L.	4	6	1	7	0	18
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	0	0	0	0	2	2
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	7	0	0	0	0	7
<b>Annonaceae</b>						
<i>Annona coriacea</i> Mart.	0	3	0	1	0	4
<i>Annona leptopetala</i> (R.E.Fr.) H. Rainer	60	0	0	0	0	60
<i>Ephedranthus piscocarpus</i> R.E.Fr.	0	1	0	0	0	1
<b>Apocynaceae</b>						
<i>Aspidosperma multiflorum</i> A.DC	27	0	0	0	18	45
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	5	0	0	0	2	7
<i>Himatanthus drasticus</i> (Mart.) Plumel	0	2	0	0	0	2
<b>Asteraceae</b>						
<i>Vernonia scorpioides</i> (Lam.) Pers.	0	1	0	0	0	1
<b>Bignoniaceae</b>						
<i>Arrabidaea brachypoda</i> Bureau	1	0	0	0	0	1
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	0	5	0	5	0	10
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	0	2	4	1	0	7
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	1	4	0	0	0	5
<i>Cyrtanthus antisiphilitica</i> (Mart.) Mart.	0	13	0	0	0	13
<i>Jacaranda brasiliana</i> (Lam.) Pers.	2	1	0	0	0	3
<b>Cactaceae</b>						
<i>Cereus jamacaru</i> DC.	1	4	0	0	0	5
<b>Caryocaraceae</b>						
<i>Caryocar coriaceum</i> Wittm.	0	3	0	0	0	3
<b>Chrysobalanaceae</b>						
<i>Hirtella ciliata</i> Mart. & Zucc.	0	1	0	4	0	5
<b>Combretaceae</b>						
<i>Combretum leprosum</i> Mart.	5	0	0	0	0	5
<i>Terminalia actinophylla</i> Mart.	0	0	0	1	0	1
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	0	0	0	0	3	3
<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.	36	25	22	18	0	101
<i>Thiloua glaucocarpa</i> (Mart.) Eichler	42	0	0	0	0	42
<i>Terminalia actinophylla</i> Mart.	0	0	0	1	0	1
<b>Dilleniaceae</b>						
<i>Curatella americana</i> L.	79	13	6	2	38	138
<b>Erythroxylaceae</b>						
<i>Erythroxylum bezerrae</i> Plowman	0	25	125	84	0	234
<b>Fabaceae</b>						
<i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakovlev	0	4	0	0	0	4
<i>Bauhinia dubia</i> G.Don	0	1	1	1	1	4
<i>Bauhinia pulchella</i> Benth.	0	0	1	2	0	3
<i>Bauhinia unguolata</i> L.	19	0	0	0	0	19
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	0	22	4	4	18	48
<i>Calliandra fernandesii</i> Barneby	0	1	0	0	0	1
<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A.Howard	1	0	0	0	0	1
<i>Copaifera coriacea</i> Mart.	15	6	0	0	0	21
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	1	0	0	0	0	1
<i>Luetzelburgia auriculata</i> (Allemão) Ducke	34	0	3	0	0	37
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	1	0	0	0	0	1
<i>Mimosa caesalpinhiifolia</i> Benth.	3	0	0	0	0	3
<i>Parkia platycephala</i> Benth.	0	2	0	1	0	3
<i>Plathymeria reticulata</i> Benth.	4	103	41	64	1	213
<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	0	4	1	1	0	6
<i>Senna acuruensis</i> (Benth.) H.S.Irwin & Barneby	16	0	0	0	1	17
<i>Stryphnodendron coriaceum</i> Benth.	2	18	0	0	2	22
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	4	5	2	8	0	19
<b>Krameriaceae</b>						
<i>Krameria tomentosa</i> A.St.-Hil.	96	25	1	1	182	305
<b>Lauraceae</b>						
<i>Ocotea brachybotrya</i> (Meisn.) Mez	0	1	0	0	0	1
<b>Loganiaceae</b>						
<i>Antonia ovata</i> Pohl	0	2	5	20	0	27
<b>Lythraceae</b>						
<i>Lafoensia replicata</i> Pohl	0	1	0	0	0	2
<b>Malpighiaceae</b>						
<i>Byrsonima coriifolia</i> A.Juss	55	32	198	75	25	385
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth.	44	47	1	17	4	113
<b>Malvaceae</b>						
<i>Helicteres heptandra</i> L.B.Sm.	0	0	1	0	1	2
<b>Myrtaceae</b>						
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth.) O.Berg.	2	0	0	0	0	2
<b>Melastomataceae</b>						
<i>Mouriri pusa</i> Gardne	0	0	0	4	0	4
<i>Mouriri guianensis</i> Aubl.	0	1	0	0	0	1
<b>Myrtaceae</b>						
<i>Psidium myrsinites</i> DC.	89	173	13	40	8	232
<i>Myrcia splendens</i> (Sx.) DC.	0	1	0	0	1	2
<b>Ochnaceae</b>						
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	0	6	5	1	0	12
<b>Olacaceae</b>						
<i>Ximenia americana</i> L.	0	0	0	0	7	7
<b>Opiliaceae</b>						
<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook.f.	0	7	0	12	0	19
<b>Rubiaceae</b>						
<i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schltdl.	0	0	4	0	0	4
<i>Tocoyena hispidula</i> Standl	0	0	7	2	0	9
<i>Tocoyena sellowiana</i> (Cham. & Schltdl.) K.Schum.	0	6	0	0	0	6
<b>Sapindaceae</b>						
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	10	4	0	0	0	14
<b>Simaroubaceae</b>						
<i>Simaba maiana</i> Casar.	0	1	1	0	0	2
<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	9	17	0	3	5	34
<b>Vochysiaceae</b>						
<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	129	0	0	0	0	129
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	23	3	0	0	9	35
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	654	372	217	155	452	1823
<i>Salvertia convallariodora</i> A.St.-Hil.	0	145	10	47	31	233
<b>Total</b>	<b>1481</b>	<b>1119</b>	<b>674</b>	<b>582</b>	<b>811</b>	<b>4550</b>

A entropia de Hill (Figura 1) evidenciou que a área 2 (Serra do Passa Tempo) apresenta maior riqueza e diversidade taxonômica. A área 1 foi a segunda mais diversa, no entanto, apresentou uma das menores dominâncias de espécies (ver  $q=2$ ). A área 4 (Serra de Bugarim) registrou a maior dominância de espécie e a A5 (Grota da Caraúba) foi a menos dominante e taxonômica diversa (Figura 1).



**Figura 1.** Perfil de diversidade para amostras de cinco comunidades de cerrado rupestre no Complexo de Campo Maior. Parâmetro  $q=0$  equivalente a riqueza,  $q=1$  equivalente ao índice de Shannon e  $q=2$  equivalente ao índice de Simpson. / **Figure 1.** Diversity profile for samples from five rupestrian cerrado communities in the Campo Maior Complex. Parameter  $q = 0$  equivalent to wealth,  $q = 1$  equivalent to the Shannon index and  $q = 2$  equivalent to the Simpson index.

A ordenação resultante da análise de escalonamento multidimensional não métrica - NMDS, usando dados de presença e ausência (Figura 2), evidenciou diferenças taxonômicas entre as áreas, como por exemplo *M. urundeuva* e *B. salicifolius*, que só foram indicadas nas regiões de Castelo do Piauí (áreas 1 e 5). Essas mesmas áreas formaram um grupo taxonômico (Figura 2), compartilhando ainda outras espécies, tais como: *A. leptopetala*, *A. brachypoda*, *C. leprosum*, *T. glaucocarpa* e *B. unguilata*.



**Figura 2.** Resultados visualizados na NMDS (análise de escalonamento não-paramétrico). Distribuição das espécies nas parcelas das 5 áreas de cerrado rupestres estudadas no Complexo de Campo Maior, Nordeste do Brasil. / **Figure 2.** Results displayed in the NMDS (non-parametric scaling analysis). Distribution of the species in the plots of the 5 areas of rupestrian cerrado studied in the Complex of Campo Maior, Northeast of Brazil.

Pode-se observar também que essa distribuição está acontecendo através de uma sobreposição de espécies dentro do complexo, exibindo um padrão de substituição espacial. De acordo com o índice de diversidade beta utilizado, o processo predominante nas áreas foi o *turnover* (0,9), podendo supor que está ocorrendo uma sobreposição de espécies.

#### Diversidade Funcional

A riqueza funcional (Fric), que se refere à quantidade de combinações únicas de atributos presente em uma comunidade, variou em todas as áreas, sendo o maior valor encontrado na área 2 (Tabela 3). A área 5 se mostrou com maior equitabilidade funcional, esse índice também apresentou uma grande variação, tanto ao nível de parcela quanto de área, mostrando que existe uma irregularidade na distribuição das espécies no espaço funcional, refletida das distintas abundâncias de determinadas combinações e atributos, observando assim que as áreas com menores diversidades taxonômica e de menores dominâncias nesse estudo são as que possuem maior padrão de uniformidade. Isso pode ser observado também em relação a área 4, considerada pela série de Hill com a mais dominante taxonomicamente, porém funcionalmente ela é a de menor valor.

A área 1 foi responsável pela maior divergência funcional, que conota ao nível de diferenciação entre os nichos, portanto nela

ocorre uma melhor ocupação e distribuição funcional, ou seja, está melhor distribuída com diferentes estratégias funcionais para uma melhor fixação no ambiente. O índice de dispersão funcional apresentou altos valores de diferenciação entre as áreas, mostrando que existe uma dispersão significativa das espécies, sendo com maior dispersão a área 2.

**Tabela 3.** Diversidade funcional ponderada da comunidade para áreas de cerrados rupestres do Complexo de Campo Maior, Nordeste do Brasil. / **Table 3.** Pondered functional diversity of the community for rupestrian cerrado areas of the Campo Maior Complex, Northeast Brazil.

Áreas	Fric	Fve	Fdiv	Fdis
A 1	24,845476	0,5109154	0,8283662	1,915402
A 2	40,617905	0,4998262	0,7940163	2,468768
A 3	9,561632	0,5322004	0,7595117	2,32681
A 4	9,605084	0,4879352	0,7817908	2,430652
A 5	8,47355	0,6279715	0,7355505	1,803892

#### Discussão

##### Diversidade taxonômica

Já era esperado que Fabaceae fosse a família mais abundante no estudo, uma vez que essa é uma das famílias botânicas mais abundantes do Brasil, e uma das mais importantes nas diferentes fisionomias do Cerrado (CARVALHO et al., 2008). Bem como a frequência da Vochysiaceae, pois essa família apresenta espécies acumuladoras de alumínio, fato esse que proporciona uma vantagem de fixação nessas áreas, uma vez que os solos de cerrado são ácidos e com grande quantidade desse mineral (HARIDASAN; ARAÚJO, 1988; FELFILI; SILVA JÚNIOR, 1992).

A variação fitofisionômica observada na análise da entropia de Hill e na análise de escalonamento multidimensional não métrica - NMDS é uma característica típica dos campos rupestres do Brasil, que já foi descrito por Alves et al. (2014), os autores o caracterizaram como um mosaico de vegetação sazonal controlado principalmente pelo solo e componentes florísticos. Barros e Castro (2006), relataram que essa divergência estrutural e florística do complexo de Campo Maior pode estar associada com a variabilidade espacial, presença da água, presença de afloramento rochoso, posicionamento na topografia, profundidade e riqueza de nutrientes no solo.

Além disso, Sousa et al. (2009) em uma análise fitoecológica do complexo, observaram um ambiente totalmente instável com uma vasta mudança de fisionomia e composição de espécies, perpassando por vários domínios fisionômicos, desse modo ocorrendo uma forte mudança espacial. Os autores relataram ainda que essa variação ocorre por que a vegetação do estado do Piauí sofre direta influência dos domínios vegetacionais Amazônicos, Cerrados do Planalto Central e o Semiárido do Nordeste, caracterizando-se, portanto como uma zona de tensão ecológica. Barros e Castro (2006) presumem que essa configuração ecotonal, associa-se a essa diversificação estrutural. A variação no *turnover* geralmente é influenciada por fatores como especiação e extinção, o que eleva o valor de riqueza (BESELGA, 2012). Outro fato que pode influenciar nesse padrão é a variação climática, uma vez que isso pode levar as áreas se tornarem mantenedoras de espécies durante uma variação climática (CARNAVAL et al., 2009).

##### Diversidade Funcional

Para Naem e Wright (2003) a riqueza funcional pode ser influenciada pela diversidade taxonômica, pois essa pode propagar no funcionamento da comunidade, dado esse observado nesse estudo, uma vez que a Serra do Passa Tempo, de maior riqueza taxonômica, foi a que apresentou a maior riqueza funcional. Outra observação interessante é que nesse estudo as áreas com menores diversidades taxonômica e de menores dominâncias são as que possuem maior padrão de uniformidade, semelhantes aos resultados encontrados por Silva (2015) na Mata Atlântica, onde mostra que apesar de algumas áreas serem bem ocupadas taxonomicamente, elas são subutilizadas funcionalmente. Talvez isso ocorra pela irregularidade na distribuição das espécies no espaço funcional da área, tão bem acentuada na área 5, que mostrou que existe uma padronização entre as distâncias funcionais entre elas (MASON et al. 2003; VILLÉGER et al., 2008).

Como constatado, a área 1 possui uma maior divergência funcional. Um dos motivos que pode ter levado é que a pobreza do solo das regiões rupestres de baixa altitude (ALBINO, 2005), deve



ter ocasionado uma competição interespecífica. Pois para Schamp et al., (2008), esse é um fato que provoca um aumento e/ou a amplitude dos atributos funcionais, causando essa divergência. A área 2 se mostrou com uma maior dispersão funcional, com isso presume-se que está ocorrendo uma montagem influenciada por fatores ambientais, onde selecionam indivíduos com características específicas que os permitem se correlacionarem, ou seja, não permitindo uma coocorrência de espécies (FUNK et al., 2008).

## Conclusões

Pode-se observar que as áreas estudadas de cerrado rupestre no Complexo Vegetacional de Campo Maior são bem diversificadas, tanto taxonomicamente quanto funcionalmente. Isso proporciona uma conformação de mosaico para essa tipologia de cerrado. Esses resultados revelam ainda a presença de uma heterogeneidade florística nos cerrados rupestres de campo maior, mesmo em distâncias relativamente curtas, que pode estar sendo causado por diferenças em relação ao solo e as aproximações com outros tipos vegetacionais ou mesmo ação antrópica. Além disso, essa heterogeneidade em escala local pode ter influenciado na divergência funcional, ocasionando a formação de grupos florísticos (entre locais), mostrando uma relação positiva entre riqueza taxonômica revelaram com maior riqueza funcional.

## Referências Bibliográficas

- AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo Agrícola e Desenvolvimento Sustentável. *Ambiente e Sociedade*, v. 8, n. 1, p. 61-178, 2005.
- ALBINO, R. S. *Florística e Fitossociologia da Vegetação de Cerrado Rupestre de Baixa Altitude e Perfil Socioeconômico da Atividade Mineradora em Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, Brasil*. 2005. 105 f. (Mestrado) Universidade Federal do Piauí/UFPI, Teresina-PI. 2005.
- ALVES, R. J. V.; SILVA, N. G.; OLIVEIRA, J. A.; MEDEIROS, D. Circumscribing campo rupestre megadiverse Brazilian rocky montane savannas. *Brazilian Journal of Biology*, v. 74, n. 2, p. 355-362, 2014.
- APG-IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot. J. Linn. Soc.* v. 181, p. 1-20, 2016.
- ARANTES, A. E.; FERREIRA JR., L. G.; COE, M. T. The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: past, present, and future influences of land cover and land use. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* v. 117, p. 66-78, 2016.
- BARROS, J. S.; CASTRO, A. A. J. F. Compartimentação geoambiental no Complexo de Campo Maior, PI: uma área de tensão ecológica. *Interações*, v. 8, n. 13, p. 119-130, 2006.
- BESELGA, A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, v. 19, n. 1, p. 134-143, 2010.
- BASELGA, A. 2012. The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. *Global Ecology and Biogeography*, v. 21, n. 1, p. 1223-1232, 2012.
- CARNAVAL, A. C.; HICKERSON, M. J.; HADDAD, C. F.; RODRIGUES, M. T.; MORITZ, C. Stability predicts genetic diversity in Brazilian atlantic forest hotspot. *Science*, v. 323, n. 2, p. 785-789, 2009.
- CARVALHO, F. A.; RODRIGUES, V. H. P.; KILCA, R. V.; SIQUEIRA, A. S.; ARAÚJO, G. M.; SCHIAVINI, I. Composição florística, riqueza e diversidade de um cerrado sensu stricto no sudeste do estado de Goiás. *Bioscience Journal*, v. 24, n. 4, p. 64-72, 2008.
- CASTRO, A. A. J. F. Cerrados do Nordeste do Brasil e ecótonos associados: Sítio 10 – Sítio Ecótem. In: CASTRO, A. A. J. F. et al. *Cerrados Marginais do Nordeste e Ecótonos Associados: Sítio 10 do PELD (Período 2001/2011)*. 1. ed. Teresina: EDUFPI / Gráfica do POVO, 2010. v. 1. 55p.
- CASTRO, A. A. J. F. et al. Cerrados marginais do nordeste e ecótonos associados. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 273-275, 2007.
- CASTRO, A. A. J. F. Survey of the Vegetation in the State of Piauí. In: GAISER, T. L.; KROL, M.; FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J. C. (Org.). *Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in Semiarid Northeast of Brazil*. 1ed. Berlin: Springer, 2003 p. 117-123.
- CASTRO, A. A. J. F. et al. How Rich Is the Flora of Brazilian Cerrados?. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, v. 86, n.1, p. 192-224, 1999.
- CASTRO, A. A. J. F. *Comparação florístico-geográfica (Brasil) e fitossociológica (Piauí-São Paulo) de amostras de cerrado*. Campinas-SP. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP. 1994. 520 p.
- DIAZ, S. CABIDO M. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*. v. 18, n. 2, p. 646-655, 2001.
- FELFILI, J. M.; SILVA-JR, M. C. Floristic composition, phytosociology and comparison of cerrado and gallery forests at Fazenda Água Limpa, Federal District, Brazil. In: FURLEY, P. A et al, (Ed.). *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*. London: Chapman & Hall, 1992. p. 393-407.
- FORZZA, R. C. et al. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. *Bioscience*, v. 62, n. 1, p. 39-45, 2012.
- FUNK, J. L.; WOLF, A. A. Testing the trait-based community framework: Do functional traits predict competitive outcomes?. *Ecology*. v. 97, n. 2, p. 2206-2211, 2016.
- HARIDASAN, M.; ARAÚJO, G. M. Aluminium accumulating species in two forest communities in the cerrado region of central Brazil. *Forestry Ecology Management*. v. 24, n.1, p. 15-26, 1988.
- LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*. v. 91, n.1, p.299-305, 2010.
- GÖTZENBERGER, L. et al. Ecological assembly rules in plant communities approaches, patterns and prospects. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, Cambridge, v. 87, n. 2, p.11-27, 2011.
- HILL, M. O. Diversity and Evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology*. v. 54, n. 3, p. 427-432, 1973.
- MAJEKOVA, M.; DE BELLO, F.; DOLEZAL, J. Plant functional traits as determinants of population stability. *Ecology*, Washington, v. 95, n. 3, p. 2369-2374, 2014.
- MMA. 2009. *Relatório Técnico de Monitoramento do Desmatamento no Bioma Cerrado, 2002 a 2008*: Dados Revisados. MMA/IBAMA/PNUD.
- MASON, N. W. H.; MACGILLIVRAY, K.; STEEL, J. B.; WILSON, J. B. An index of functional diversity. *Journal of Vegetation Science*. v. 14, n. 4, p. 571-578, 2008.
- MÜNKEMÜLLER, T.; BELLO, F.; MEYNARD, C. N.; GRAVEL, D.; LAVERGNE, S.; MOUILLOT, D. et al. From diversity indices to community assembly processes: a test with simulated data. *Ecography*. v. 34, n. 1, p. 001-013, 2011.
- NAEEM, S.; WRIGHT, J. P. The effects of biodiversity on ecosystem functioning: derive solutions to a seemingly insurmountable problem. *Ecology Letters*, v. 6, n. 2, p. 567-579, 2003.
- PAVOINE, S.; BONSALE, M. B. Measuring biodiversity to explain community assembly: a unified approach. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*. v. 86, n. 2, p. 792-812, 2011.
- PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. Review of Ecology, *Evolution and Systematics*, Canada, v. 40, n. 4, p. 37-57, 2009.
- PLA L.; CASANOVES, F.; RIENZO, J. A. D. Cuantificación de la diversidad funcional. In: CASANOVES, F.; PLA, L.; RIENZO, J. A. D. (Ed.). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*, Turrialba: Catie, 2011. p. 33-44.
- R (DEVELOPMENT CORE TEAM). *R: a language and environment for statistical computing*. Version 3.0.2. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2013.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa CPAC, Planaltina, 2008, cap. 3, p. 151 -212.
- ROY, K.; JABLONSKI, D.; VALENTINE, J. W. Introduction by Dov F. Sax and Robert J. Whittaker. In: MARK, V.; LOMOLINO, M. V.; HEANEY, L. R. (Ed.). *Frontiers of Biogeography: new directions in geography of nature*. Massachusetts: Sinauer Associates, 2004. p. 151-170.
- SCHAMP, B. S.; CHAU, J.; AARSEN, L.W. Dispersion of traits related to competitive ability in an oldfield plant community. *Journal of Ecology*. v. 96, n. 2, p. 204-212, 2008.
- SILVA V. F. *Diversidade funcional de plantas arbóreas dominantes de um fragmento de mata atlântica em Pernambuco*. Recife-PE: Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural de Pernambuco/UFRPE, 2016. 63 f.
- SOUSA, S. R.; CASTRO, A. A. J. F.; FARIAS, R. R. S.; SOUSA, M. G.; CASTRO, N. M. C. F. Fitoeologia do Complexo de Campo Maior, Piauí, Brasil. *Publicações Avulsas em Conservação de Ecossistemas*. p. 1-22. 2009.
- SWENSON, N. G. The functional ecology and diversity of tropical tree assemblages through space and time: From Local to Regional and from Traits to Transcriptomes. *ISRN Forestr*, v. 20, n. 1, p. 1-16, 2012.
- TABARELLI, M.; VICENTE, A. Conhecimento sobre plantas lenhosas da Caatinga: lacunas geográficas e ecológicas. In: SILVA, J. M. C. et al. (ORGS). *Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004. cap. 11, p. 101-111.
- TRIBOT, A. S. et al. Taxonomic and functional diversity increase the aesthetic value of coralligenous reefs. *Scientific Reports*, v. 6, n.2, p. 229-242, 2016.
- VANDEWALLE, M. et al. Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organism. *Biodiversity and Conservation*, v. 19, n. 2, p. 2921-2947, 2010.
- VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (eds). *Ecorregiões: propostas para o Bioma Caatinga*; resultados do seminário de planejamento ecorregional da caatinga. Recife, TNC/APNE, 75p. 2001.
- VIEIRA, L. T. A. *Padrões de diversidade da flora lenhosa dos cerrados do nordeste do Brasil*. Campinas-SP: Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP. 2012. 520 p.
- VILLÉGER, S.; MASON, N. W.; MOUILLOT, D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*. v. 89, n. 2, p. 2290-2301, 2008.
- VIOLLE, C. NAVAS, M. VILE, D. et al. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, v. 116, n. 4, p. 882-892, 2007.